

О ХАРАКТЕРЕ РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

В.А. Борисенко, В.А. Левченко, А.Г. Архипов

ABOUT FRACTURE BEHAVIOR OF STEEL 12Kh18N10T UNDER REPEATING LOAD IN AIR SEPARATION PLANTS

V.A. Borisenko, V.A. Levchenko, O.G. Arhipov

*Северодонецкий технологический институт, Украина
ООО „Северодонецкий НИИХИММАШ”, Украина*

Abstract. The results of investigations of nitrogen and oxygen regenerators metal after long period of exploitation with analysis of change of mechanical properties and structural state under the influence of the low temperatures and pulsating load are given in this paper. It is shown the destruction of 12X18H10T steel occurs because of the undiffusion processes of transition of austenite into martensite and of cracking on the borders of grains. The destruction process of apparatus proceeds most intensively on the welded joints where the most structural non-uniformity with presence of welding defects and residual stresses take place.

Оборудование производства разделения воздуха работает в непрерывном процессе, включая стадии приемки воздуха, очистки его от технических примесей, сжатия воздуха в компрессорах, охлаждение воздуха с очисткой его от влаги и от углекислоты со следующим сжатием и ректификацией. На завершающей стадии получают жидкий азот или кислород с температурой минус 180°C – минус 190°C. Процесс происходит при пульсирующем давлении от 0 до 0,6 МПа с цикличностью 20 циклов/час для кислородных регенераторов и 10 цикл/час для азотных.

По своей конструкции эти аппараты представляют собой вертикально установленные сварные сосуды со съемными крышками, внутри которых находятся заполненные теплоносители из гофрированной алюминиевой фольги.

Габаритные размеры регенераторов следующие:

- азотный – диаметр 2400 мм, толщина стенки 12 мм, высота 5000 мм;
- кислородный – диаметр 1400 мм, толщина 8 мм, высота 4530 мм.

Азотные и кислородные регенераторы изготовлены из стали 12Х18Н10Т. Исследования состояния металла было проведено на вырезанных участках корпуса аппаратов после 35 лет эксплуатации (~ 275000 час). За это время аппараты подверглись ~ $2 \div 4 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Металл для исследования был вырезан из верхней части, где температура +40°C, средней и нижней части аппарата, где рабочая температура минус 180°C. Вырезанные участки корпуса включили кольцевые и продольные сварные швы, которые на заводе-изготовителе выполнялись автоматической сваркой с применением проволоки 06Х19Н9Т под флюсом АН-26.

Химический анализ исследуемого металла представлен в табл. 1.

По данным табл. 1 следует, что регенераторы изготовлены из стали 12Х18Н10Т без каких-либо отклонений в химическом составе.

Механические свойства сталей приведены в табл. 2, где представлены результаты испытания основного металла и сварных соединений, вырезанных из аппаратов, в сравнении с характеристиками прочности и пластичности стали 12Х18Н10Т в исходном состоянии.

Таблица 1.

Наименование	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
<u>Азотный регенератор</u>								
Основной металл	0,11	0,87	0,67	0,02	0,02	18,35	9,18	0,46
Продольный шов	0,07	0,96	0,70	0,019	0,023	17,98	9,18	0,22
Кольцевой шов	0,10	0,80	0,69	0,019	0,008	18,00	9,11	0,35
<u>Кислородный регенератор</u>								
Основной металл	0,11	0,96	0,70	0,024		17,18	9,20	0,35
Кольцевой шов	0,08	0,98	0,60	0,017		16,66	9,11	0,11
12X18H10T ГОСТ 5632-72	≤0,12	≤ 2,0	≤ 0,8	≤0,035	≤0,035	17-19	9-11	5·C- 0,8

Таблица 2.

Наименование	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\psi\%$	$\delta\%$	KCV Дж/см ²	угол загиба
	МПа					
<u>Азотный регенератор</u>						
Основной металл верхней царги	599-612	331-354	51-58	42,6-53,1		
Кольцевой сварной шов	618-625	-	-	-		
Основной металл средней царги	621-624	333-336	57-59	50,8-52,6	149-272	180°
Кольцевой сварной шов	622-635	-	-	-	138-172	65-70°
Нижняя царга	613-649	354-362	54,6-56,6	44,8-49,6		
<u>Кислородный регенератор</u>						
Основной металл Верхней царги	613-649	354-362	54,6-56,6	44,8-49,6		
Кольцевой шов	615-625	-	-	-		
Основной металл Средней царги	624-631	370-380	50,3-53,5	34,2-39,7		
12X18H10T по ГОСТ 7350-77	> 530	> 236		> 38		

Данные испытаний на растяжение показали, что металл регенераторов имеет удовлетворительные характеристики прочности и пластичности после длительной эксплуатации.

По результатам испытаний соотношение $\sigma_{0,2}/\sigma_{0b}$ находится в пределах 0,54-0,62, а соотношение σ_b основного металла к σ_b сварных соединений ~ 1,0.

Однако следует отметить, что значения ударной вязкости «старой» стали составляет для основного металла 130-189 KCV (Дж/см²) для сварного шва 100-138 Дж/см², что значительно ниже ударной вязкости стали 12X18H10T в исходном состоянии. По ГОСТ 7350-77 для этой стали минимальное значение равно 286 Дж/см², хотя минимальные значения ударной вязкости удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Необходимо выяснить, почему после 30 лет эксплуатации аппараты начали растрескиваться преимущественно по сварным соединениям, и трещины начали появляться как в кольцевых, так и в продольных швах и даже в основном металле.

Следует отметить, что перед изготовлением аппаратов сталь 12X18H10T и ее сварные соединения обычно проверяются на склонность к межкристаллитной коррозии (МКК). И если в исходном состоянии основной металл и сварные соединения не склонны к МКК, то испытания образцов, вырезанных из азотных регенераторов, показали склонность к МКК зоны термического влияния.

Металлографические исследования показали, что в исходном состоянии сталь 12X18H10T имеет аустенитную структуру (рис. 1а). После длительной эксплуатации в аустенитной структуре наблюдаются сдвиговые деформации с измельчением зерен, образования промежуточных фаз, предшествующих мартенситу (рис. 1б, в, г). При этом микротвердость с 2500 МПа возрастает до 4580 МПа.

Обычно все превращения в стали связываются с диффузией углерода. Но если аустенит переохладить до очень низких температур, когда γ -решетка, несмотря на наличие растворенного в ней углерода, неустойчивая, то происходит перестройка решетки без выделения углерода, т.е. имеет место процесс бездиффузного превращения аустенита в мартенсит [1]. В конечном итоге образуется пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе с такой же концентрацией, как и у исходного аустенита. Это явление наблюдается в кислородных и азотных регенераторах, но в разной степени по высоте аппарата, что связано с распределением температуры.

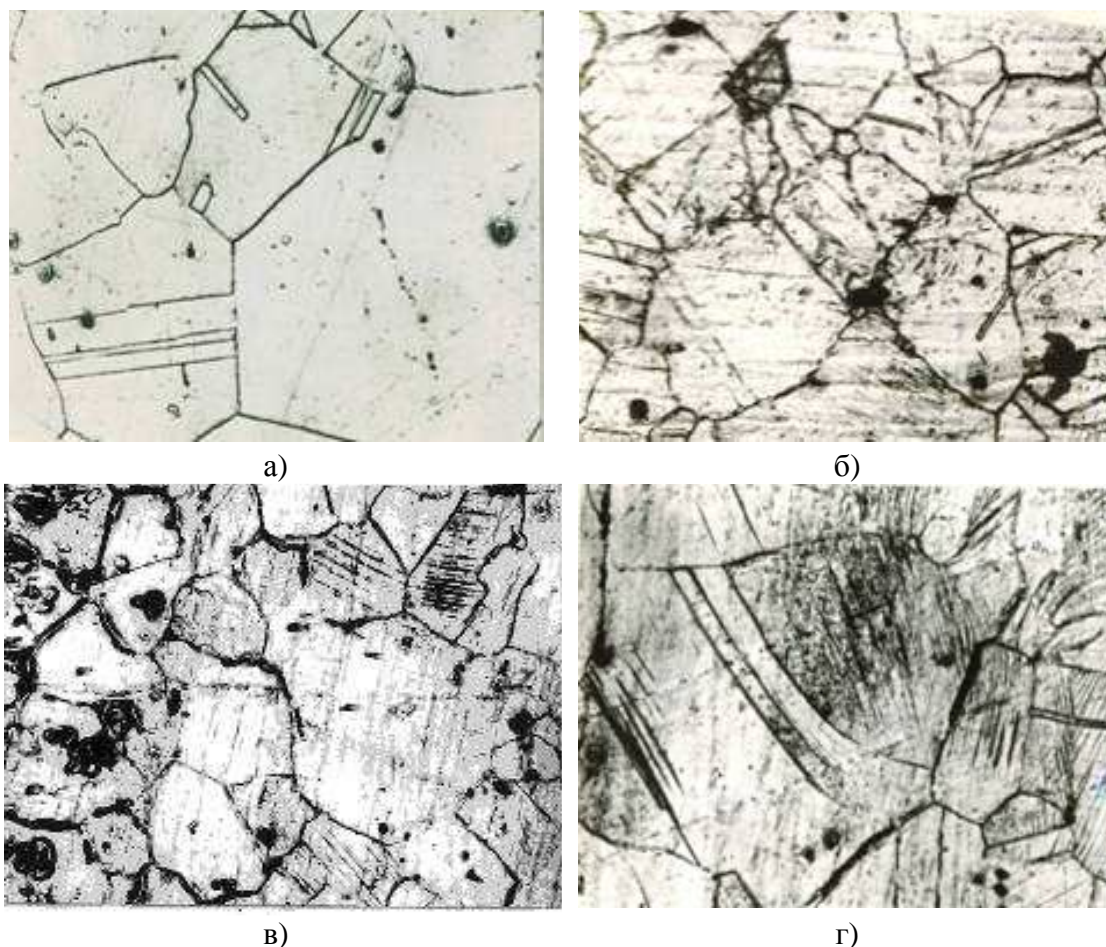


Рис. 1. Микроструктура стали 12X18H10T: а – исходное состояние, б, в, г – после длительной эксплуатации, увеличено в 300 раз.

Наиболее интенсивно эти процессы протекают в сварных соединениях, где наиболее высокая структурная неоднородность и присутствуют остаточные сварочные напряжения. Если в основном металле двойникование и скопление дислокаций вызывает образование трещин (рис. 2а), то в зоне термического влияния по границам зерен образуется феррито-карбидная прослойка (рис. 2б) с порами и цепочками пор, которые, по сути, являются началом разрушения металла.

Дефекты в сварных швах в виде пор, шлаковых включений обычно развиваются в процессе эксплуатации, а наложение структурных аномалий ускоряет разрушение сварных швов с образованием трещин в основном по границам зерен (рис. 2в).

Известно [2], что работа разрушения стальных образцов (A) с разным радиусом надреза раскладывается на работу зарождения трещины (A_3) и на работу развития трещины (A_p):

$$A = A_3 + A_p$$

После испытания на ударную вязкость образцов стандартного размера (55x10x10 мм) с разными радиусами надреза, равными 0, 2, 0,35, 0,5, 0,75 и 1,0 мм построена зависимость ударной вязкости от радиуса надреза (рис. 3). Анализ полученных данных показывает, что при несколько более высокой работе зарождения трещины в «старой» стали, разрушения стали регенератора происходит быстрее, чем стали в исходном состоянии, т.е. в металле после длительной эксплуатации при наличии разного рода дефектов разрушение происходит почти в 2 раза быстрее чем в новой стали.

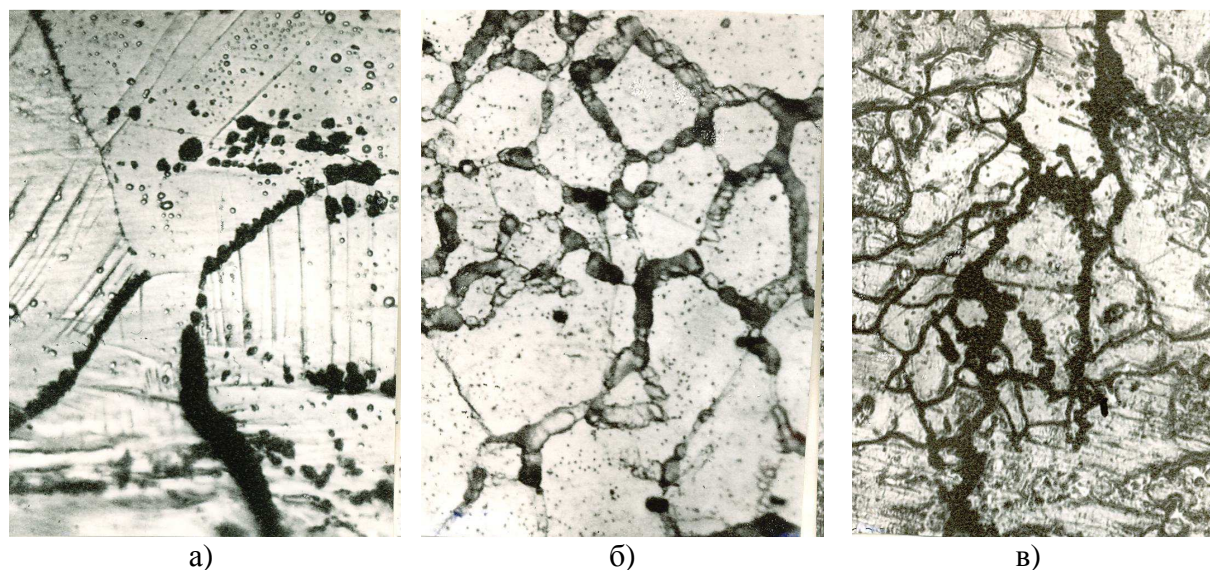


Рис. 2. Микроструктурные аномалии в стали 12X18H10T: а – основной металл, б – зона термического влияния, в – сварной шов; а, б – увеличено в 800 раз, в – увеличено в 300 раз.

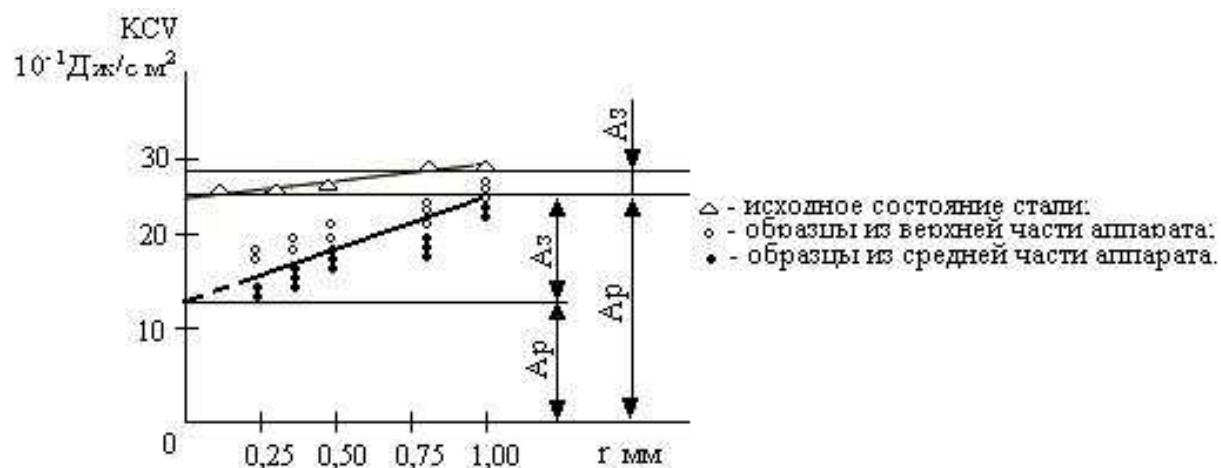


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости от радиуса надреза стали 12X18H10T кислородного регенератора.

На основании проведенных исследований стали 12X18H10T, из которой изготовлены кислородные и азотные регенераторы производства разделения воздуха, установлено:

1. В основном металле и сварных соединениях произошли необратимые структурные превращения аустенита вследствие его переохлаждения до температуры минус 180-190°C при циклическом нагружении металла. Структурные аномалии проявляются в фазовых превращениях, в интенсивных дислокационных процессах с двойникованием и измельчением кристаллов.

2. Указанные микроструктурные аномалии наиболее сильно проявляются в зоне термического влияния и в совокупности с развивающимися дефектами сварки приводят к образованию трещин и выходу из строя аппаратов.

3. При сравнительно удовлетворительных характеристиках прочности и пластичности отмечается повышенная склонность «старой» стали к росту трещин и развитию микродефектов.

Литература

1. А.П. Гуляев. Металловедение. М.: Металлургия. 1974. - с.235-270.
2. А.П. Гуляев. Разложение ударной вязкости на ее составляющие по данным испытания образцов с разным надрезом. Заводская лаборатория. 1967. №4. С.473-475.